

Marian KOLARCZYK

## PRZYKŁADY CHARAKTERYSTYK ZASTĘPCZYCH CZĘŚCI KOPALNIANYCH SIECI WENTYLACYJNYCH

**Streszczenie.** W referacie podjęto zagadnienie istnienia i wyznaczania charakterystyk zastępczych części kopalnianych sieci wentylacyjnych posiadających dwa węzły wspólne z resztą sieci. Przedstawiono możliwe sposoby definiowania wielkości zastępczych dla tych części. Podano uzyskane z pomiarów przykłady charakterystyk otoczeń, podsieci, dla których pracują wentylatory główne oraz dodatkowe wentylatory podziemne (pomocnicze i swobodne). Pokazano przykład przesunięcia charakterystyki otoczenia do III ćwiartki układu współrzędnych, co jest równoznaczne ze zmianą kierunku przepływu powietrza. Wskazano na możliwość wyjaśniania niektórych prawidłowości występujących w sieci w oparciu o właściwości tych charakterystyk.

## EXAMPLES OF THE CHARACTERISTICS OF SPARE PARTS NEEDED FOR THE VENTILATION NETWORKS OF COLLIERIES

**Summary.** The paper deals with the existence and way of determining the characteristics of spare parts used in the ventilation networks of collieries, two nodes of the network being common with the remaining network. Various possibilities of defining the substitute quantities for these spare parts have been presented. The paper also provides example of characteristics.

### 1. Wstęp

W wielu zagadnieniach dotyczących analizy przewietrzania kopalń głębinowych przydatne jest posługiwanie się charakterystykami zastępczymi wybranych części kopalnianej sieci wentylacyjnej. Literatura dotycząca tego zagadnienia dostarcza dużo przykładów wskazujących na celowość wyznaczania i korzystania z takich charakterystyk. W piśmiennictwie i w praktyce znane są określenia: opór zastępczy, otwór równoznaczny sieci, depresja zewnętrzna, wewnętrzna, zredukowana charakterystyka wentylatora itp. W. Budryk [3] do analizy wspólnej pracy kilku wentylatorów w sieciach normalnych zastosował graficzne

sumowanie charakterystyk bocznic z oporami i wentylatorami. Uzyskał rozwiązanie takich sieci oraz wskazał na możliwość badania wpływu zmian parametrów wybranego elementu na przepływ powietrza. Dalsze rozwinięcie metod graficznych sporządzania charakterystyk zastępczych części sieci przynoszą prace H.Bystronia [5]. Przy pewnych uproszczeniach dotyczących stałego spiętrzenia wentylatora głównego uzyskano graficzne rozwiązanie sieci przekątnej prostej oraz tzw. sieci Szwyrkowa. I.E.Bolbat i W.I.Liebidiew [1,2] zredukowaną do oddziały charakterystykę wentylatora wykorzystują do oceny stabilności prądów powietrza przy pożarach podziemnych, zwłaszcza przy pożarach w prądach schodzących.

Możliwość wydzielania części sieci w oparciu o teorię grafów była analizowana w pracy [11], gdzie zwrócono uwagę także na szczególne części posiadające dokładnie dwa węzły wspólne z resztą sieci. Po wydzieleniu z sieci  $S$  podsieci  $S'$  (posiadającej jeden wlot i jeden wylot, rys.1) pozostaje zawsze reszta sieci będąca dopełnieniem całej sieci. Dopełnienie to w pracy [11] nazywane jest otoczeniem podsieci.

W pracach [9,10] podjęto zagadnienie istnienia charakterystyk zastępczych części sieci, definiowania dla tych części wielkości zastępczych, metod wyznaczania oraz możliwości ich wykorzystania w niektórych analizach kopalnianych sieci wentylacyjnych. Podano analityczne metody wyznaczania charakterystyk oraz rozwinięcie w szereg Taylora.

Informacje o własnościach takich charakterystyk w wielu przypadkach wyjaśniają niektóre prawidłowości występujące w sieci. Bardziej czytelne stają się wtedy niektóre analizy. Istnieje możliwość poprawnej interpretacji wybranych zjawisk, dostrzegania zagrożeń i usuwania ich skutków. Dlatego też zagadnienia istnienia i właściwości tych charakterystyk uważać należy za przydatne przy kierowaniu przewietrzaniem kopalń głębinowych.

## 2. Definiowanie wielkości zastępczych dla części sieci

Możliwość określania charakterystyki zastępczej części sieci, posiadającej dokładnie dwa węzły wspólne z resztą sieci, bazuje na analogii odnośnie do wydzielania z sieci pojedynczego elementu (bocznic) oraz istnienia charakterystyki tego elementu (bocznic). W nauce o przewietrzaniu kopalń wyróżnia się dwa rodzaje elementów:

- pasywne (tzn. takie, w których występuje rozproszenie energii w czasie przepływu powietrza,
- aktywne (wymuszające przepływ, dostarczające energię).

W obliczeniach sieci wentylacyjnej każdemu elementowi (bocznicy) przypisywana jest charakterystyka. Charakterystyki te dla odpowiedniego rodzaju elementu ujmowane są w postaci zależności:

- dla elementów pasywnych  $W = f(V)$ ,

- dla elementów aktywnych  $H = f(V)$ ,

gdzie:  $V$  - wydatek objętościowy prądu powietrza, wydajność,

$W$  - spadek naporu powietrza,

$H$  - spiętrzenie wentylatora, depresja naturalna.

Gdy w bocznicy sieci występuje wyłącznie rozproszenie energii, to wygodnie jest jej charakterystykę przedstawiać w postaci zależności:

$$W = R \cdot V^2 \quad (1)$$

gdzie:  $R$  - opór aerodynamiczny bocznicy.

Rozdzielenie sieci na dwie części (rys. 1, 2, 3, 4, 6) posiadające dwa wspólne węzły pociąga za sobą konieczność:

- określenia wielkości zastępczych dla każdej części  $V_z$ ,  $W_z$  lub  $H_z$ ,
- sprecyzowania, w jaki sposób będziemy daną część traktować pod względem energetycznym (tzn. czy będziemy jej przypisywali zastępczy spadek naporu  $W_z$ , czy zastępcze spiętrzenie  $H_z$ ),
- wyznaczenia potrzebnej charakterystyki.

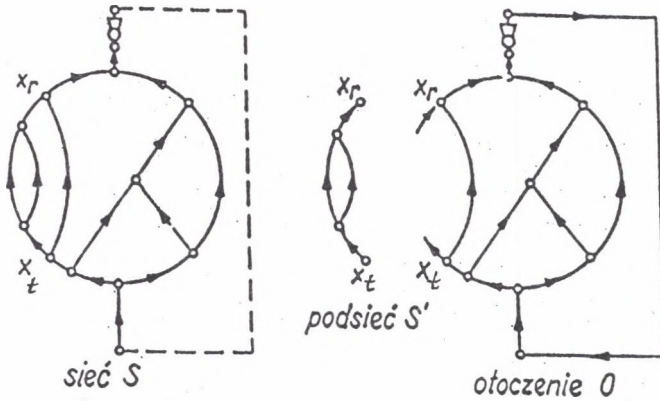
W części sieci w ogólnym przypadku mogą występować elementy pasywne i aktywne.

Dlatego też przy analizie tego zagadnienia wyróżnić można następujące przypadki:

- w części sieci występują tylko elementy pasywne,
- w części sieci występują tylko elementy aktywne,
- w części sieci występują elementy pasywne i aktywne.

Gdy w części sieci występują wyłącznie elementy pasywne (np. podsieć  $S'$  rys.1), to można jej przypisać charakterystykę zastępczą:

$$W_z = f(V_z) = R_z \cdot V_z^2 \quad (2)$$



Rys. 1. Wydzielenie podsieci i otoczenia w kopalnianej sieci wentylacyjnej  
 Fig. 1. Separation of the sub-networks from the environment

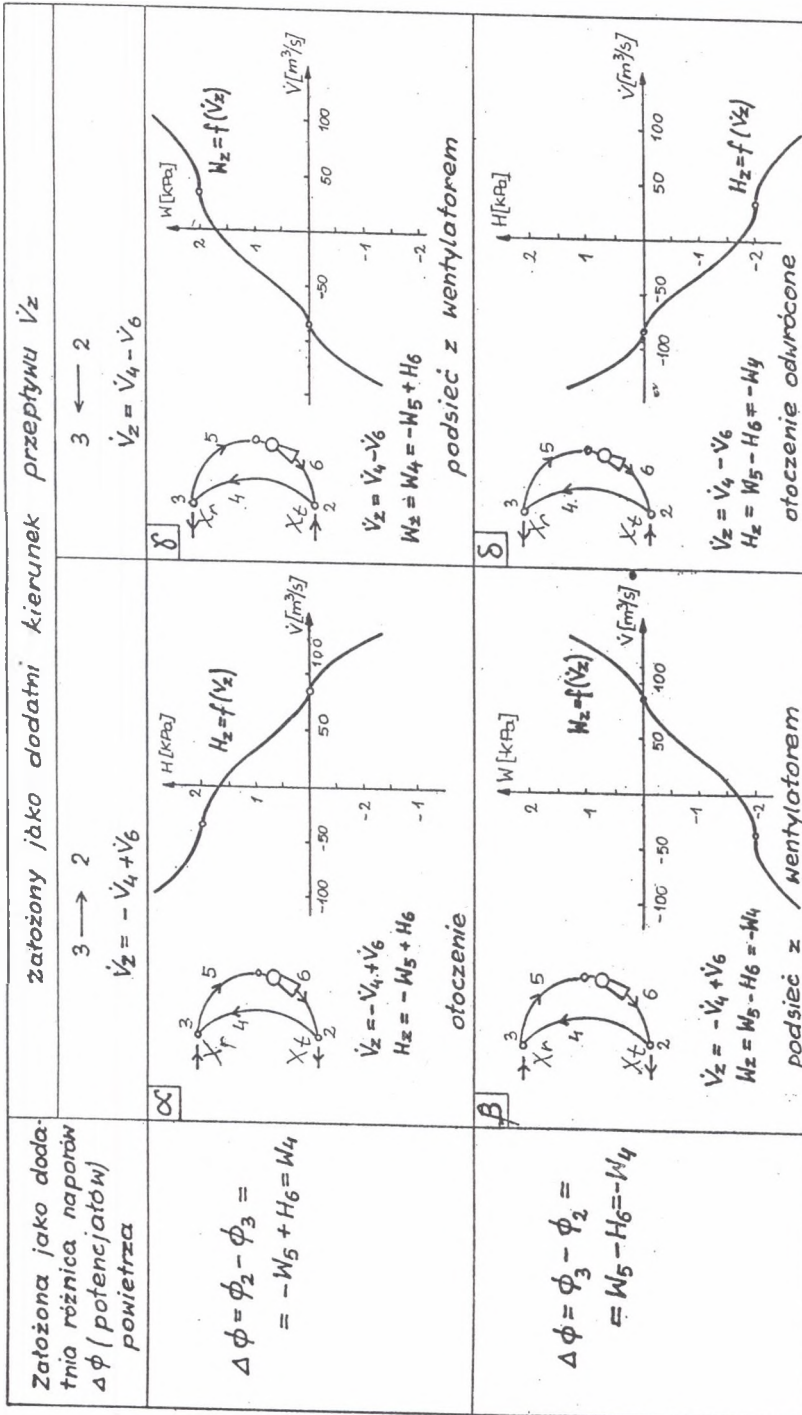
Opór zastępczy  $R_z$  jest wtedy jedynym parametrem figurującym w tej charakterystyce. Jest on uzależniony wyłącznie od oporów  $R_i$  bocznie tworzących tę podsieć oraz od jej struktury. Wyznaczenie oporu  $R_z$  metodami obliczeniowymi jest bardzo proste dla podsieci normalnych, utrudnione dla podsieci z bocznicami przekątnymi. Pomiarowe wyznaczenie oporu  $R_z$  wymaga wyznaczenia wydatku całkowitego powietrza  $V_z$  przepływającego przez podsieć oraz pomiaru zastępczego spadku naporu  $W_z$  występującego pomiędzy węzłami wlotowym  $x_i$  i wylotowym  $x_r$  z podsieci.

Gdy w wydzielonej części sieci występują wyłącznie elementy aktywne (np. wentylatory), to wtedy takiej części przypisuje się charakterystykę zastępczą:

$$H_z = f(V_z) \quad (3)$$

Znane są metody pomiarowe, graficzne lub analityczne wyznaczania takich charakterystyk wentylatorów pracujących szeregowo lub równolegle.

Dla praktyki interesujące są także przypadki, gdy w części sieci występują elementy pasywne i aktywne (rys. 2, 3, 4, 6). W zależności od potrzeby wyróżnić wtedy można, pokazane na rys. 2, cztery sposoby definiowania wielkości zastępczych  $V_z$ ,  $W_z$  lub  $H_z$  dla takiej części. W pracach [9,10] wykazano, że zastępczy wydatek powietrza  $V_z$  przepływającego przez część sieci może być zdefiniowany w sposób następujący:



Rys.2. Obroty charakterystyk zastępczych wokół osi układu współrzędnych przy różnych sposobach definiowania wielkości zastępczych Fig.2. The rotation of substitute characteristics around the axis of the coordinate system in various case of defining substitute quantities

$$V_z = \sum_{i \in CZ} s_{ii} \cdot V_i \quad (4)$$

lub

$$V_z = - \sum_{i \in CZ} s_{ii} \cdot V_i \quad (5)$$

gdzie:

$s_{ii}$  - jest czynnikiem znakowym macierzy incydencji węzłowo-bocznikowej dla węzła styczności  $x_i$  lub  $x_r$  (wspólnych dla dwu wydzielonych części sieci, rys. 1, 2),

$V_z$  - wydatki powietrza w bocznicach danej części sieci CZ incydentnych z węzłem  $x_i$  (lub  $x_r$ ).

Znaki + lub - przed sumą w wyżej przedstawionych definicjach wydatku zastępczego  $V_z$  wynikają z umownego przyjęcia kierunku przepływu powietrza przez daną część sieci CZ. Na rys.2 w pierwszej kolumnie założono, że przepływ wydatku zastępczego  $V_z$  od węzła 3 do węzła 2 będzie traktowany jako dodatni (przypadki  $\alpha$  i  $\beta$ ). W drugiej kolumnie tego rysunku przyjęto inne założenie - jako dodatni będzie traktowany przepływ wydatku zastępczego  $V_z$  od węzła 2 do węzła 3 (przypadki  $\gamma$  i  $\delta$ ).

Podobnie na dwa sposoby można zdefiniować różnicę potencjałów (naporów) powietrza występującą pomiędzy węzłami krańcowymi  $x_i$ ,  $x_r$  części sieci CZ (rys. 2).

$$\Delta\Phi = \Phi_r - \Phi_i \quad (6)$$

lub

$$\Delta\Phi = \Phi_i - \Phi_r \quad (7)$$

gdzie  $\Phi_i$ ,  $\Phi_r$  - potencjały aerodynamiczne powietrza w węzłach podziału sieci na dwie części.

Potencjały te mogą być wyznaczone w trakcie pomiarów charakterystyki części sieci. W metodach obliczeniowych można także wykorzystać sumę spadków naporu powietrza  $W_i$  i spiętrzeń wentylatorów  $H_i$  (z odpowiednimi znakami) występującą w dowolnym fragmencie cyklu  $c_n$  (oczka sieci) przechodzącego przez część sieci pomiędzy jej węzłami krańcowymi  $x_r$ ,  $x_i$  (lub  $x_i$ ,  $x_r$ ). Odpowiednie różnice potencjałów można wtedy wyznaczać w następujący sposób:

$$\Delta\Phi = \Phi_r - \Phi_i = - \sum_{i \in CZ} c_{ii} \cdot (W_i - H_i) \quad (8)$$

lub

$$\Delta\Phi = \Phi_i - \Phi_r = \sum_{i \in CZ} c_{ii} \cdot (W_i - H_i) \quad (9)$$



gdzie:  $c_{si}$  jest czynnikiem znakowym macierzy cyklowo-bocznikowej dowolnego fragmentu cyklu sieci prowadzonego przez jej część pomiędzy węzłami styczności  $x_r$ ,  $x_l$  (lub  $x_i$ ,  $x_r$  - rys.2).

Możliwość definiowania na dwa sposoby wydatku zastępczego  $V_z$  powietrza przez część sieci (rys. 2 pierwsza i druga kolumna), a także możliwość definiowania na dwa sposoby różnicy potencjałów powietrza  $\Delta\phi$  występującej między węzłami krańcowymi  $x_i$ ,  $x_r$  (pierwszy i drugi wiersz rys. 2) powodują, że istnieją cztery sposoby definiowania charakterystyki zastępczej części sieci (rys. 2 przypadki  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ). Można wykazać, że różnice w sposobach definiowania powodują obrót charakterystyki wokół osi pionowej (pierwsza i druga kolumna rys.2) lub względem osi poziomej (pierwszy i drugi wiersz rys. 2). Takie obroty charakterystyk wyznaczane graficznie stosowane były także w pracach [3, 5].

Przypadek  $\alpha$  (rys. 2) traktować można jako zredukowaną charakterystykę wentylatora. W pracach [9,10] używane jest także określenie charakterystyka otoczenia. Przypadek  $\delta$  to otoczenie odwrócone do III ćwiartki układu współrzędnych. Przypadek  $\beta$  traktować można jako podsieć z wentylatorem dodatkowym (np. pomocniczym) pracującym zgodnie z kierunkiem przepływu wydatku zastępczego. Przypadek  $\gamma$  utożsamiać można z podsiecią, w której wentylator dodatkowy pracuje niezgodnie z założonym kierunkiem wydatku zastępczego. Wszystkie wyszczególnione przypadki mogą być przydatne w praktyce przy analizach kopalnianych sieci wentylacyjnych, co zostanie pokazane w dalszej części referatu.

Wykresy zależności  $W_z = f(V_z)$  lub  $H_z = f(V_z)$  pokazane na rys. 2 uzyskane zostały przy następujących parametrach bocznic tworzących tę część sieci:  $R_4 = 1.588 \text{ kg/m}^7$ ,  $R_5 = 0.2 \text{ kg/m}^7$ ,  $H_6 = 2000 - 0.078 \cdot V^2$ . Do wyznaczenia tych charakterystyk zastępczych zastosowano metodę komputerowej symulacji rozptywu oraz - dla sprawdzenia uzyskanych wyników - graficzne sumowanie charakterystyk poszczególnych elementów tej części sieci. Pokazane dalej w referacie przykłady charakterystyk zastępczych wyznaczone zostały w oparciu o pomiary w kopalniach.

### 3. Otoczenie podsieci i jego charakterystyka

Wydzielenie podsieci wentylacyjnej z całej sieci, np. podsieci oddziału wydobywczego (rys. 1, 3), powoduje, że pozostała część sieci, dalej nazywana otoczeniem, po dołączeniu bocznic zamykającej także posiada jeden wlot (rys. 1 węzeł  $x_r$ ) oraz jeden wylot (rys. 1 węzeł  $x_i$ ). Charakterystyka zastępcza takiej części sieci może być zdefiniowana, tak jak to pokazano





na rys. 2 przypadek  $\alpha$ . W skład otoczenia wchodzi wentylatory główne oraz inne boczne z oporami. O właściwościach charakterystyki takiej części sieci będą więc decydowały jej struktura oraz parametry wszystkich jej elementów [6,9,10].

Dwa przykłady charakterystyk zastępczych otoczeń podsięci oddziałów wydobywczych uzyskane z pomiarów pokazano na rys. 3. Podsięci te posiadały jeden wlot i wylot powietrza (rys. 3 b, c). Tym samym otoczenia tych podsięci także posiadały jeden wlot (węzeł 15 rys. 3 b, c) oraz jeden wylot (węzeł 1 rys. 3 b, c). Pomiarowe wyznaczenie charakterystyki otoczenia  $H_z(V_z)$  - rys. 3a - polegało na utworzeniu kilkunastu stanów pomiarowych przez wprowadzanie zmian w podsięci (zamykanie lub otwieranie niektórych tam wentylacyjnych, włączanie do pracy wentylatora pomocniczego w podsięci). W każdym stanie pomiarowym przeprowadzano pomiary zezwalające na wyznaczenie spadku naporu powietrza  $W_{1,15}$ , który jest równy przyrostowi naporu powietrza w otoczeniu  $H_{1,15}$  oraz wydatku powietrza w podsięci, który jest równy wydatkowi powietrza na wlocie i wylocie z otoczenia.

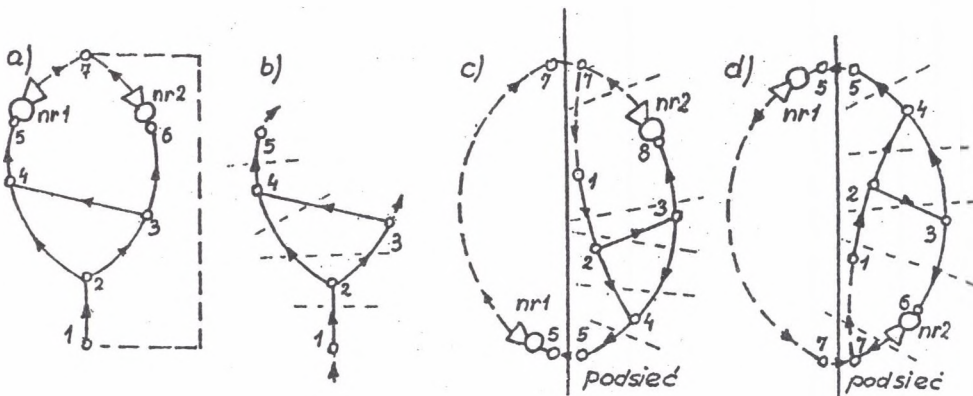
Uzyskane charakterystyki  $H_z(V_z)$  otoczeń (rys.3a) utożsamiać można z charakterystyką fikcyjnego (zredukowanego) wentylatora wymuszającego przepływ powietrza w podsięci. Można je wykorzystać do różnych analiz podsięci, np. przy wariantowych obliczeniach rozplywu powietrza w podsięci. Otoczenie może być wtedy zastąpione wcześniej wyznaczoną charakterystyką (fikcyjny wentylator o charakterystyce  $H_z(V_z)$ ).

Przeprowadzone w kopalniach węgla dalsze badania właściwości tych charakterystyk [9] wskazują, że w uzyskanych przedziałach  $V_z$ ,  $H_z$  charakterystyki te z dostateczną dokładnością mogą być aproksymowane linią prostą  $H_z = a - b \cdot V_z$ . Współczynnik kierunkowy „b” przyjmował jednak bardzo zróżnicowane wartości od -3 do -109 Pa·s/m<sup>3</sup>, co świadczy o różnych nachyleniach tych charakterystyk (strome, płaskie). W praktyce znane są doświadczenia dotyczące możliwości uzyskania, np. przyrostu ilości powietrza w oddziale przez zmianę nastawy (oporu) rejonowej tamy regulacyjnej. W niektórych przypadkach przyrost ten można łatwo uzyskać, w niektórych trudno. Prawidłowości w tym zakresie wyjaśnia nachylenie charakterystyki zastępczej otoczenia  $H_z(V_z)$ , a dokładniej wartość współczynnika „b”.

#### 4. Charakterystyki podsięci, dla których pracują wentylatory główne

Przy analizie pracy wentylatorów głównych oprócz charakterystyki wentylatora istotne są właściwości charakterystyki podsięci, dla której wymusza on przepływ powietrza.

Najczęściej spotykane przypadki to praca kilku wentylatorów głównych zabudowanych przy poszczególnych szybach wydechowych. Problematyczne jest wtedy przypisywanie stałego oporu (lub stałego otworu równoznacznego) podsięci związanej z wybranym wentylatorem. Podkreśla to W. Budryk [3, str. 147] „...opór sieci wentylacyjnej, względnie jej otwór równoznaczny, traci tu swoją stałą wartość, przestaje być wielkością charakteryzującą daną sieć wentylacyjną. Opór danej sieci jest już tu zależny nie tylko od oporów poszczególnych bocznic systemu, lecz również i od wzajemnego wpływu, jaki wywierają na siebie wentylatory”, i dalej [3, str. 148] „...należy cały system, a więc sieć łącznie ze wszystkimi wentylatorami, traktować jako całość”.

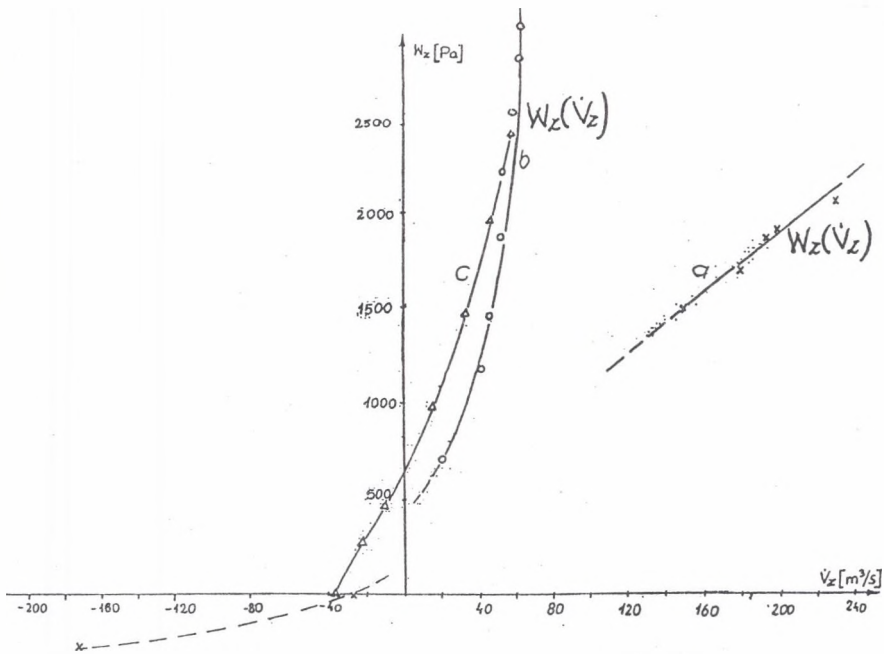


Rys. 4. Rozdzielenie sieci na dwie części przy pracy wentylatora głównego  
Fig. 4. Separation of a network into two parts when the main fan is in operation

W świetle przedstawionych wyżej sposobów podziału sieci na dwie części posiadające dwa wspólne węzły, wydzielenie podsięci, dla której pracuje wentylator nr 1, pokazane na rys. 4b należy uważać za nieprawidłowe. Wydzielona część posiada jeden wlot w węźle 1 oraz dwa wyloty w węzłach 3 i 5. W takim przypadku trudno zdefiniować wielkości zastępcze  $V_z$  i  $W_z$ . Inny sposób podziału sieci na dwie części posiadające dwa wspólne węzły 5 i 7 pokazano na rysunkach 4 c,d. W jednej części znajduje się wentylator nr 1, a w drugiej reszta sieci z wentylatorem nr 2. Część sieci z wentylatorem nr 2, dalej nazywana podsięcią, posiada wlot powietrza w węźle 7 oraz wylot w węźle 5. Możliwe jest więc zdefiniowanie zastępczego wydatku powietrza  $V_z$  przepływającego przez tę część (wydatek ten jest taki sam jak wydajność wentylatora nr 1) oraz zastępczego spadku naporu powietrza  $W_z$  od węzła 7 do

węzła 5 (spadek ten co do wartości bezwzględnej jest równy spiętrzeniu wentylatora nr 1). Analizowany przypadek części sieci odpowiada przypadkowi  $\gamma$  pokazanemu na rys.2.

Wydzielonej podsieci rys. 4c,d, ze względu na występowanie w niej wentylatora nr 2, trudno przypisać stały opór zastępczy  $R_z$  (stały otwór równoznaczny). W takich przypadkach trzeba posługiwać się charakterystyką  $W_z = f(V_z)$ , której przebieg może być nieco inny od parabolicznego ze stałym oporem  $R_z$ . Przypuszczać należy, że jest to uzależnione od tzw. „wzajemnych wpływów” poszczególnych wentylatorów. Waga tego zagadnienia ze względu na bezpieczeństwo pracy wentylatorów i sieci wymaga prowadzenia dalszych badań.



Rys. 5. Przykłady charakterystyk podsieci  $W_z(V_z)$ , dla których pracują wentylatory główne  
Fig. 5. Examples of the characteristics of the sub-networks  $W_z(V_z)$  for which the main fans operate

Na rysunku 5 pokazano uzyskane z pomiarów w kopalniach dwa przykłady (a, b) charakterystyk podsieci  $W_z = f(V_z)$ , w których przepływ powietrza wymuszały wentylatory główne zabudowane na powierzchni. W każdej z tych kopalń pracowało kilka wentylatorów głównych. Pomiary charakterystyk zastępczych podsieci przeprowadzono mierząc w kanale wentylacyjnym przed zasuwą podciśnienie całkowite oraz prędkość powietrza, co pozwoliło

na wyznaczenie zastępczego spadku naporu  $W_z$  oraz wydatku przepływu. Pomiaru wykonywano równocześnie z pomiarami charakterystyki wentylatora głównego, w czasie których „dławienie” wentylatora i podsieci uzyskiwano przez opuszczanie zasowy głównej w kanale wentylacyjnym. Fragment krzywej „a” (rys.5) dla ujemnego wydatku powietrza uzyskano przy wyłączonym wentylatorze głównym oraz przy pracy rewersyjnej. Czynności te pozwoliły na obserwację przepływu w podsieci przy stopniowo zmienianych warunkach pracy, co umożliwiło wyznaczenie analizowanych charakterystyk  $W_z=f(V_z)$  - rys.5.

Na rys. 5 pokazano także jeden przykład charakterystyki podsieci  $W_z=f(V_z)$  wyznaczony metodą komputerowej symulacji przepływu powietrza w sieci. Jak widać, przebieg analizowanych zależności  $W_z=f(V_z)$  jest nieco odmienny od charakterystyk podsieci ze stałym oporem zastępczym. Wynika to z pracy innych wentylatorów w sieci oraz z czynników naturalnych. Wspomniano już o celowości prowadzenia dalszych badań w tym zakresie, co pozwoliłoby na bardziej precyzyjne wyjaśnienie zagadnienia tzw. „wzajemnych wpływów” wentylatorów głównych.

## 5. Charakterystyki podsieci, dla których pracują wentylatory pomocnicze

Charakterystyki zastępcze części sieci mogą być także przydatne w analizach dotyczących pracy dodatkowych wentylatorów podziemnych (wentylatory pomocnicze, duże wentylatory swobodne). Właściwości tych charakterystyk w tym przypadku także wyjaśniają niektóre prawidłowości występujące w sieci [9, 10].

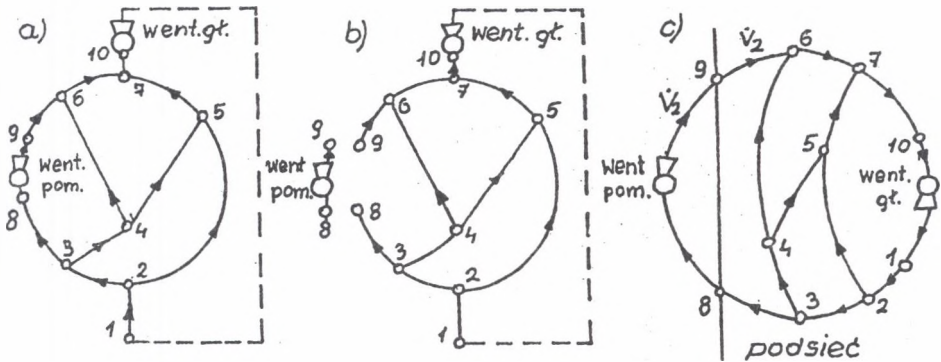
Zasadniczym efektem pracy wentylatora podziemnego jest przyrost wydatku powietrza w wybranych wyrobiskach. Często dotyczy to bocznic, w której zabudowano wentylator lub bocznic najbliższych. Efekt ten uwarunkowany jest właściwościami danego wentylatora, które reprezentowane są przez jego charakterystykę  $H_p(V)$ , a także efekt ten uzależniony jest od właściwości sieci wentylacyjnej i miejsca zabudowania wentylatora. Identyczne egzemplarze wentylatorów zabudowanych w różnych miejscach w tej samej sieci lub w innych sieciach mogą uzyskiwać różne parametry pracy, co między innymi wynika z własności sieci.

Punkt pracy wentylatora głównego (przy pracy stabilnej) ustala się na przecięciu charakterystyki tego wentylatora  $H(V)$  z tzw. charakterystyką podsieci  $W_z(V_z)$ . Zagadnienie to poruszono w poprzednim rozdziale referatu. Przenoszenie prawidłowości słusznych przy pracy wentylatorów głównych na pracę wentylatorów pomocniczych wymaga dodatkowych

wyjaśnić. Analogicznie można postawić pytanie, jaki jest przebieg charakterystyki sieci - podsieci  $W_z(V_z)$ , z którą przecina się charakterystyka wentylatora dodatkowego  $H_p(V)$ , tzn. w jakim punkcie ustala się praca układu wentylator dodatkowy - sieć? Pokażemy, że charakterystyka podsieci  $W_z(V_z)$  w przypadku pracy podziemnych wentylatorów dodatkowych posiada nieco odmienny przebieg. Jest to istotne przy doborze wentylatora pomocniczego oraz przy ocenie efektów jego pracy.

Na rys. 6a,b,c pokazano rozdzielenie sieci na dwie części:

- wentylator pomocniczy,
- reszta sieci (którą także można nazywać podsiecią).

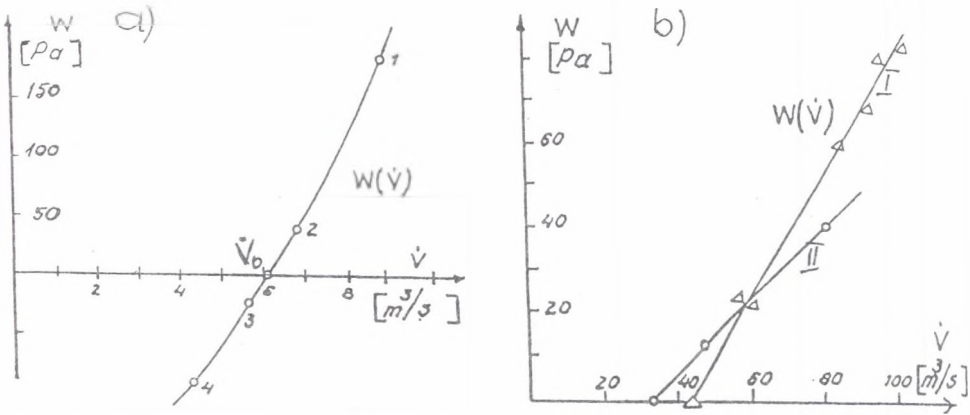


Rys. 6. Wydzielenie reszty sieci przy pracy wentylatora pomocniczego  
Fig. 6. Separation of the remaining network when auxiliary fan is in operation

Reszta sieci (podsieć rys. 6c) po dołączeniu bocznicy zamykającej o węzle początkowym 11 i węzle końcowym 1 (rys. 6a) posiada jeden wlot powietrza w węzle 9 i jeden wylot w węzle 8 (rys. 6c). Możliwe jest więc zdefiniowanie charakterystyki zastępczej  $W_z(V_z)$  tej części sieci [9, 10]. Zastępczy spadek naporu powietrza  $W_z$  może być określony jako różnica naporu powietrza w węzle wlotowym 9 i węzle wylotowym 8 reszty sieci (podobnie jak w przypadku pojedynczego wyrobiska). Zastępczy wydatek  $V_z$  to ilość powietrza dopływającego do węzła 9 lub wypływającego z węzła 8 (rys. 6c). W reszcie sieci oprócz bocznic z oporami (rys. 6c) pracuje także wentylator główny (lub kilka takich wentylatorów). Z tego względu charakterystyka zastępcza tej części sieci także nie posiada przebiegu typowego dla bocznic z oporem. Jej wyznaczenie może być realizowane przez pomiary w kopalni lub przez symulację rozplywu powietrza na komputerze. Jeden punkt tej charakterystyki jest zawsze znany. W



przypadku gdy nie jest jeszcze zabudowany wentylator pomocniczy, to spadek naporu powietrza od węzła 9 do węzła 8 jest równy zero (rys. 6b). Wentylator główny wymusza wtedy przepływ powietrza od węzła 8 do węzła 9 o wydatku  $V_0$  (rys. 7a). Punkt ten o współrzędnych  $(V_0, W = 0)$  w układzie współrzędnych  $V, W$  leży więc na poziomej osi wydanku.



Rys. 7. Przykłady wyników pomiarów charakterystyk reszty sieci  $W_z(V_z)$  uzyskane przy pracy wentylatorów pomocniczych lub swobodnych

Fig. 7. Examples of the results of measurements of the characteristics  $W_z(V_z)$  of the remaining network obtained while auxiliary or free fans were in operation

Rysunek 7a [9] przedstawia wyniki pomiarów takiej charakterystyki uzyskanej podczas pracy wentylatora pomocniczego zabudowanego na wylocie z oddziału w jednej z kopalń węgla (rys. 3b). Wentylator ten zbudowany był z baterii trzech WLE umieszczonych w tamie. W stanie normalnym dwa wentylatory pracowały, trzeci był wyłączony i stanowił rezerwę. Pomiary spiętrzenia  $H_{c,9,8}$  (rys. 3b), a tym samym zastępczego spadku naporu w reszcie sieci  $W_z$ , wykonane były metodą manometryczną. Wydatek powietrza mierzony był w wyrobisku za pomocą anemometru skrzydełkowego. Poszczególne punkty pracy układu wentylator pomocniczy - reszta sieci, na podstawie których wykreślono charakterystykę  $W_z(V_z)$  reszty sieci (rys. 7a), uzyskano przy zmienianej nastawie elementów baterii WLE wentylatora pomocniczego:

- 1 - przy pracy trzech wentylatorów baterii WLE,
- 2 - przy pracy dwu wentylatorów baterii WLE,



3 - przy pracy jednego wentylatora baterii WLE,

4 - po wyłączeniu wszystkich wentylatorów.

Na rys.7b pokazano dwa następane przykłady I i II charakterystyk zastępczych reszty sieci  $W_z(V_z)$  uzyskane z pomiarów w kopalniach LGOM. Zastosowano podobną metodę pomiarową wyznaczania tych charakterystyk. Poszczególne punkty pracy układu wentylator dodatkowy - sieć uzyskiwano przez kolejne włączanie do pracy wentylatorów swobodnych WOR-200 i baterii wentylatorów typu PWS. Spiętrzenie zastępcze baterii współpracujących wentylatorów swobodnych zabudowanych w tym samym przekroju wyrobiska wzrastało, co powodowało przyrost ilości powietrza w wyrobisku. Potwierdza to wcześniej przedstawioną analizę przebiegu charakterystyki  $W_z(V_z)$ .

Na uwagę zasługują nachylenia poszczególnych charakterystyk  $W_z(V_z)$  względem poziomej osi wydatku powietrza  $V$ . Wyniki dalszych badań tych charakterystyk wskazują, że w spotykanym przedziale przyrostu wydatku powietrza charakterystykę reszty sieci  $W_z(V_z)$  z dostateczną dokładnością można aproksymować linią prostą:  $W = a + eV$ ; gdzie:  $a$ ,  $e$ , współczynniki aproksymacji (rys. 7). Współczynnik kierunkowy  $e = \operatorname{tg}\alpha$  pokazuje nachylenie analizowanej charakterystyki względem osi poziomej  $V$ . Dla pokazanych przykładów współczynnik ten przyjmował wartości:

- rys.7a  $e = 67.4 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ ,

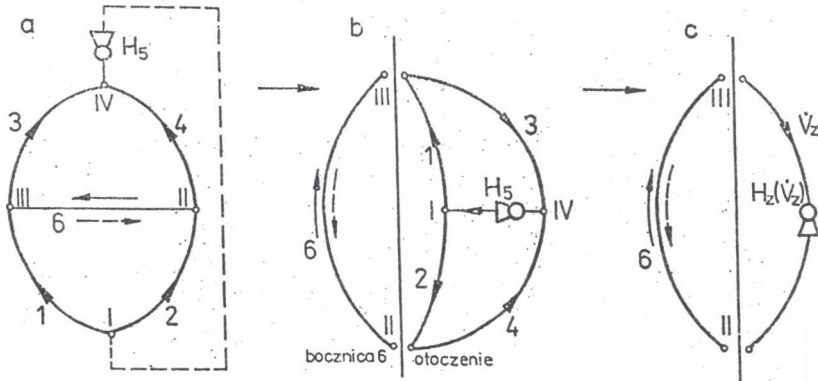
- rys.7b I  $e = 1.44 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ ,

- rys.7b II  $e = 0.84 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ .

W praktyce można się więc spotkać z charakterystykami  $W_z(V_z)$  o bardzo zróżnicowanym nachyleniu, co jest istotne przy doborze parametrów wentylatora pomocniczego. Przy charakterystykach „płaskich” łatwiej można uzyskać przyrost ilości powietrza, przy charakterystykach „stromych” jest to trudniejsze, wentylatory pomocnicze powinny wtedy posiadać wyższe spiętrzenia. Wyznaczanie charakterystyki  $W_z(V_z)$  nie zawsze jest konieczne. Potrzebne obliczenia można wykonać metodą symulacji komputerowej. Właściwości takich charakterystyk objaśniają jednak występujące prawidłowości, które nie zawsze można wytłumaczyć dotychczas znanymi sposobami analizowania sieci. Pokazany w tym rozdziale przykład zastosowania charakterystyki zastępczej części sieci nawiązuje do klasyfikacji podanej na rys.2 - przypadek  $\beta$  - praca wentylatora dodatkowego zgodna z kierunkiem wydatku zastępczego w części sieci.

## 6. Charakterystyka odwróconego otoczenia

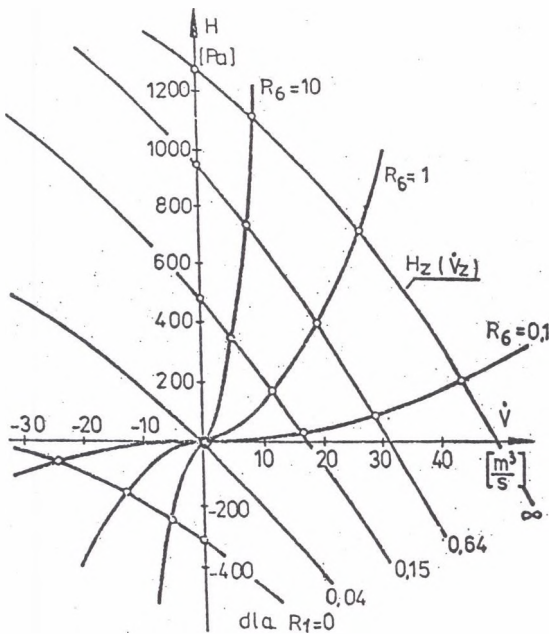
W klasyfikacji możliwych sposobów definiowania części sieci wentylacyjnych posiadających dwa węzły wspólne z resztą sieci (rys.2 $\gamma$ ) wyodrębniono także przypadek  $\gamma$  - charakterystykę odwróconego otoczenia. Taki przypadek także jest przydatny przy analizach niektórych zjawisk w kopalnianej sieci wentylacyjnej. W pracach [9,7], wykorzystując charakterystyki zastępcze części sieci (charakterystykę otoczenia niektórych bocznic), podano ilustrację graficzną - otoczeniową klasycznych warunków H.Czczozotta, T.Koguta i S.Barczyka, co do kierunku przepływu powietrza w niektórych bocznicach tych sieci. Pokazano, że charakterystyki otoczeń wybranych bocznic przy zmianie parametrów bocznic tworzących otoczenie (opory, spiętrzenia wentylatorów) doznają przesunięcia do III ćwiartki układu współrzędnych, co jest równoznaczne ze zmianą kierunku przepływu powietrza w analizowanej bocznicy. Ilustruje to znany wniosek wynikający z tych warunków: zmiana kierunku przepływu powietrza w analizowanej bocznicy nie jest uzależniona od jej oporu, lecz od parametrów bocznic sąsiednich (tzn. od położenia charakterystyki otoczenia tej bocznicy).



Rys. 8. Wydzielenie bocznic przekątnej 6 i jej otoczenia  
 Fig. 8. Separation of the diagonal side branch 6 from its environment

Rysunki 8 i 9 [9,8], nawiązujące do przypadku  $\delta$  z rys.2, ilustrują znany warunek H.Czczozotta dotyczący kierunku przepływu powietrza w bocznicach przekątnej 6. Wyodrębnienie bocznic 6 oraz jej otoczenia pokazano na rys.8 a, b, c. Otoczeniu tej bocznic można przypisać charakterystykę zastępczą  $H_2(V_2)$  - rys.9. Charakterystyka ta przy zmianie parametrów bocznic tworzących tę część sieci zmienia swoje położenie. Na rys. 9 pokazano jej

przesunięcie do III ćwiartki układu współrzędnych przy zmniejszaniu się oporu  $R_1$ , co jest równoznaczne ze zmianą kierunku przepływu powietrza w bocznicy 6 niezależnie od oporu  $R_6$ .



Rys. 9. Przesunięcia charakterystyki otoczenia  $H_z(V_z)$  bocznicy przekątnej 6 przy zmianach oporu  $R_1$   
 Fig. 9. Shifts of the characteristics  $H_z(V_z)$  of the environment of the diagonal side branch 6 if resistance  $R_1$  is changed

## LITERATURA

1. Bolbat I.E., Liebiediew W.I.: Sposoby połączenia przywiediennoy charakteristiki wentylatora. Gornospasatielnoje dielo. Donieck 1972/5.
2. Boldat I.E., Liebiediew W.I.: Stabilizacja wozdusznych potokow pri pozarach w wyrobotkach. Ugoł 1973/11.
3. Budryk W.: Wspólna praca kilku wentylatorów w normalnych systemach wentylacyjnych. Przegląd Górniczo-Hutniczy, 1935/3 (Wybór Pism, PWN, Warszawa-Kraków 1976).
4. Budryk W.: Wentylacja kopalń. Cz. I. Przewietrzanie wyrobisk. WGH, Katowice 1961.

5. Bystron H.: Graficzne rozwiązania systemów przewietrzania. Przegląd Górniczy, 1958/5-6.
6. Frycz A., Kolarczyk M.: Zastosowanie charakterystyki otoczenia podsieci wentylacyjnej do analizy przewietrzania oddziału. Bezp. Pracy w Górn. 1979/1 (42) s.1-3.
7. Frycz A., Kolarczyk M.: Classical criteria of direction in simple mine ventilation network - An environment interpretation. Proceedings of the "21st International Conference of Safety in Mines Research Institutes". Sydney 1985, s. 339-345.
8. Frycz A., Kolarczyk M.: Efekty pracy różnych typów wentylatorów podziemnych w kopalniach węgla i rud. W materiałach konf. "Wybieranie złóż na dużych głębokościach oraz w trudnych warunkach geotermicznych". Św.Zdr.- Wrocław. X 1996. s.145-152.
9. Kolarczyk M.: Własności i zastosowania charakterystyki podsieci i otoczenia w kopalnianej sieci wentylacyjnej. ITEZ, Gliwice 1980 (niepublikowane).
10. Kolarczyk M.: Definiowanie i wyznaczanie charakterystyk części kopalnianych sieci wentylacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z.188, Gliwice 1990, s.171-183.
11. Sułkowski J.: Rozwiązalność podstawowych zagadnień teorii kopalnianej sieci wentylacyjnej w zależności od jej struktury. Politechnika Śl. ITEZ. Gliwice 1971 (niepublikowane).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Strumiński

Wpłynęło do Redakcji 4.10.1996 r.

### Abstract

The paper deals with the existence and way of determining the characteristics of spare parts used in the ventilation networks of collieries, two nodes of the network being common with the remaining network. Various possibilities of defining the substitute quantities for these spare parts have been presented. The paper also provides examples of characteristics of the environment, sub-networks, for which the main fans as well as the underground additional fans (both auxiliary and free-standing ones) operate. An example has been given of the shift of

characteristics of the environment to the third quadrant of the coordinate system, which is tantamount to changes in the direction of the flow of air. It has been indicated how to explain some regularities occurring in the network, basing on the properties of these characteristics.